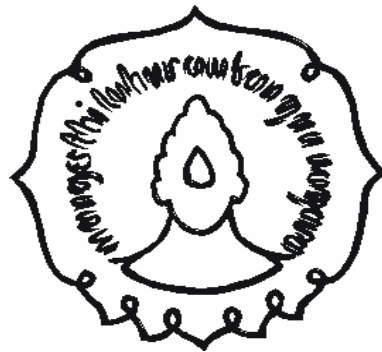


**PEMANFAATAN KULIT PISANG
SEBAGAI BAHAN PEMBAWA
INOKULUM BAKTERI PELARUT FOSFAT**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagai persyaratan
Guna memperoleh derajat Sarjana Pertanian
Di Fakultas Pertanian
Universitas Sebelas Maret
Jurusan/Program Studi Ilmu Tanah**



**Oleh :
Ina Nilaning Tyas
H 0203044**

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2008**

**PEMANFAATAN KULIT PISANG
SEBAGAI BAHAN PEMBAWA
INOKULUM BAKTERI PELARUT FOSFAT**

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

INA NILANING TYAS

H 0203044

**telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal : 23 September 2008
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Susunan Tim Penguji

Ketua

Anggota I

Anggota II

Dr. Ir Supriyadi, MP
NIP 131 792 209

Ir. Sri Hartati, MP
NIP 131 633 833

Dr. Ir. WS. Dewi, MP
NIP 131 688 966

**Surakarta, Oktober 2008
Mengetahui,
Universitas Sebelas Maret
Fakultas Pertanian
Dekan**

Prof. Dr. Ir. H. Suntoro, MS
NIP. 131 124 609

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fosfor (P) termasuk unsur hara makro yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, namun kandungannya di dalam tanaman lebih rendah dibanding nitrogen (N), kalsium (Ca), dan kalium (K). Hal ini disebabkan karena P di dalam tanah bersenyawa dalam bentuk Al-P, Fe-P, Ca-P dan *Occluded-P* (Mansur et al., 2003). Adanya pengikatan P tersebut menyebabkan pupuk P yang diberikan menjadi tidak efisien, sehingga perlu diberikan dalam takaran yang tinggi. Kekurang efisien penggunaan pupuk ini dapat diatasi dengan berbagai cara, salah satu diantaranya dengan memanfaatkan mikrobia pelarut P sebagai pupuk hayati. Penggunaan memanfaatkan mikrobia pelarut P sebagai pupuk hayati mempunyai keunggulan antara lain hemat energi, tidak mencemari lingkungan dan dapat diintroduksi di tempat baru.

Pupuk hayati merupakan mikroorganisme hidup yang diberikan ke dalam tanah sebagai inokulan untuk membantu tanaman memfasilitasi atau menyediakan unsur hara tertentu bagi tanaman (Simanungkalit, 2001). Salah satunya adalah pupuk hayati Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) yang berperan dalam peningkatan kandungan P tersedia dalam tanah. Mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok Bakteri Pelarut Fosfat antara lain *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Thiobacillus sp*. Jumlahnya dapat mencapai 12 juta organisme per gram tanah dan keberadaannya dari suatu tempat ke tempat lain sangat beragam. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan sifat biologisnya. Ada yang hidup pada kondisi netral dan basa, ada yang hipofilik, mesofilik dan termofilik, ada yang hidup sebagai aerob dan ada yang anaerob. Masing-masing memiliki sifat-sifat khusus dan kondisi lingkungan optimal yang berbeda-beda yang mempengaruhi efektifitasnya melarutkan fosfat (Simanungkalit et al., 2006). Genus *Bacillus sp* dan *Pseudomonas sp* memiliki kemampuan yang paling besar dalam melarutkan fosfat tak larut

menjadi bentuk larut dalam tanah. Pelarutan ini disebabkan oleh adanya sekresi asam organik bakteri tersebut, seperti asam format, asetat, propionat, laktat, glikolat, glioksilat, fumarat, tartarat, ketobutirat, suksinat, dan sitrat (Subba-Rao, 1982). Asam α ketoglukonat merupakan asam yang memiliki daya pelarutan nisbi yang tinggi terhadap P-anorganik. Asam ini mampu menggantikan kedudukan P-ortofofat dalam kompleks persenyawaan Al-P dan Fe-P sehingga akibatnya fosfat terbebas ke dalam larutan tanah dan menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Asam ini biasanya dikeluarkan oleh bakteri dari genus *Pseudomonas sp* (Simanungkalit, 2001).

Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat untuk tujuan pemupukan tanaman membutuhkan suatu bahan pembawa. Bahan pembawa inokulum yang lazim disebut sebagai carrier pada dasarnya merupakan suatu bahan yang dapat digunakan sebagai tempat hidup inokulum pupuk hayati sebelum diaplikasikan, sehingga harus dapat mengaktifkan kegiatan mikrobial agar mampu tumbuh dan berkembang pada saat digunakan. Bahan *carrier* yang baik adalah bersifat tidak meracuni mikrobial, kemampuan absorpsi tinggi, mudah disterilkan, dan dihaluskan, mudah menempel pada bahan tanaman (biji misalnya) dan tersedia secara melimpah (Burton, 1979). Ada banyak jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pembawa antara lain gambut, lignit, dan pupuk dari lahan pertanian. Pupuk dari lahan pertanian (seperti : batang gandum, dan lain-lain) (dengan kandungan bahan organik 79,05%, total Nitrogen 0,93%, Berat jenis $0,79 \text{ g/cm}^3$, Berat Volume $1,77 \text{ g/cm}^3$, porositas 55,39%, kapasitas menahan air 153,4% dan total luas area $911,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) mampu meningkatkan keberadaan rhizobia lebih tinggi sampai jangka waktu 3 bulan penyimpanan pada temperatur 30°C bila dibandingkan dengan gambut India (Subba-Rao, 1982).

Pisang (*Musa paradisiaca L*) merupakan tanaman buah-buahan yang tumbuh dan tersebar di seluruh Indonesia. Negara Indonesia merupakan penghasil pisang terbesar di Asia (Cahyono, 1995). Namun karena

banyaknya kegiatan produksi (baik itu yang berskala besar maupun yang berskala rumah tangga) maka memunculkan masalah sosial lain yaitu melimpahnya produksi limbah. Selama ini limbah kulit pisang hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Padahal sisa pengolahan ini masih dapat diekstrak dan dimanfaatkan untuk menghasilkan produk-produk yang berguna dan dapat diekstrak kandungan pektin di dalamnya. Pektin merupakan senyawa hidrokoloid karbohidrat yang terdapat pada jaringan tanaman muda dan buah. Selain itu pektin dapat menyerap air 40-100 kali volumenya (Hanifah, 2004). Selain itu pada kulit buah pisang juga terdapat substrat yang disebut silan. Bila kulit pisang ini dipakan pada mikroorganisme dari spesies *Bacillus*, maka akan menghasilkan enzim yang disebut silanase. Saat ini skala laboratorium yang dilakukan peneliti BPPT di Lampung pada tahun 2000 menghasilkan enzim silanase 10 liter per hari. Enzim ini digunakan pada industri pangan sebagai substitusi lemak, makanan aditif anti-beku, dan gula silosa. Silanase juga digunakan pada industri makanan ternak, dan pada pembuatan carrier release tablet di industri farmasi (Unisosdem, 2003).

Dengan berbagai keunggulan nutrisi pada kulit pisang dan dengan pertimbangan mudah diperoleh, maka kulit pisang berpotensi digunakan sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat.

B. Perumusan Masalah

1. Benarkah kulit pisang dapat digunakan sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat ?
2. Bagaimana karakteristik pertumbuhan Bakteri Pelarut Fosfat pada bahan pembawa kulit pisang ?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

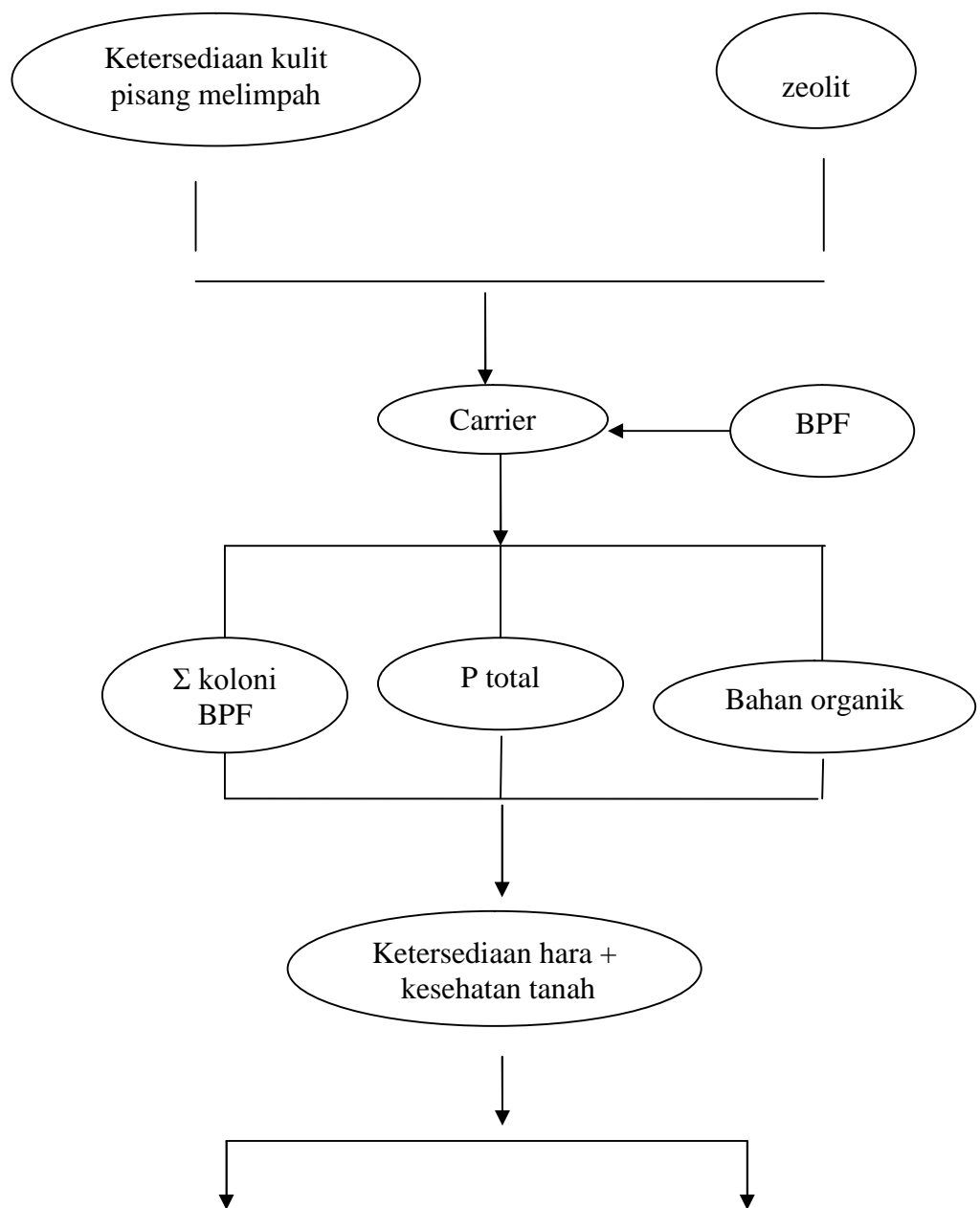
1. Untuk mengetahui potensi kulit pisang sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat.

2. Untuk mengetahui karakteristik pertumbuhan Bakteri Pelarut Fosfat pada bahan pembawa kulit pisang.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memperoleh informasi tentang potensi kulit pisang sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat sehingga dapat memberikan nilai lebih terhadap kemanfaatan kulit pisang.

D. Kerangka Berpikir

Alur pikir dari penelitian secara ringkas disajikan pada Gambar 1.1 dan dapat diuraikan bahwa kulit pisang berpotensi sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat.





Gambar 1.1. Bagan alir pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pentingnya mikrobial dalam merawat kesuburan dan keberlanjutan fungsi tanah

Tanah dengan nilai produktivitas tanah yang tinggi, tidak hanya terdiri dari komponen-komponen padat, cair, dan udara saja, akan tetapi harus mengandung jasad hidup tanah yang cukup banyak. Dengan adanya jasad hidup tanah ini maka tingkat kesuburan tanah akan dipengaruhi, karena jasad hidup memegang peranan penting dalam proses-proses pelapukan bahan organik dalam tanah sehingga unsur hara menjadi lebih tersedia bagi tanaman (Sarief, 1979).

Pada proses penguraian bahan organik dan pendauran unsur hara, proses immobilisasi hara mengacu pada penggunaan dan penyatuan hara ke dalam bahan hidup oleh mikrobial dan tumbuhan tinggi. Hara yang tidak terimmobilisasi, akan dimineralisasi kembali bila makhluk itu mati. Pada waktunya, bahkan bahan yang paling resisten menyerah pada serangan enzim mikrobial. Hasil akhirnya adalah pelepasan energi sebagai panas, pembentukan CO_2 dan air dan munculnya N sebagai NH_4^+ , belerang sebagai sulfat, fosfor sebagai fosfat dan banyak hara lain seperti ion logam sederhana (Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+). Kebanyakan bentuk ini tersedia bagi makhluk hidup untuk daur pertumbuhan yang lain

(Foth, 1994).

Pada saat residu-residu tanaman dan binatang ditanamkan ke dalam tanah atau digunakan sebagai bahan kompos, residu-residu tadi dengan segera akan diserang oleh berbagai organisme, baik berbagai bakteri, aktinomisetes, cendawan, protozoa, dan berbagai bentuk cacing. Sebagai suatu hasil dari dekomposisi, beberapa unsur penyusunnya diubah, sebagian digunakan oleh berbagai jasad renik untuk membangun substansi sel mikrobial dan sebagian lainnya berangsur-angsur ditransformasikan ke dalam suatu benda amorf dan berwarna gelap yang disebut humus (Sutedjo, 1996).

Peranan bakteri sangat penting di tanah karena ia turut dalam semua perubahan bahan organik, ia memonopoli dalam reaksi enzimatik seperti nitrifikasi, oksidasi bakteri dan fiksasi nitrogen. Bila proses ini terganggu maka seluruh kehidupan tumbuhan akan terganggu. Peranan bakteri ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti, kelembapan, oksigen (aerasi), suhu, bahan organik, dan pH (Hakim, 1986).

Munculnya varietas unggul yang menuntut pengelolaan tanah intensif dengan diiringi penggunaan pupuk kimia yang kian meningkat dari tahun ke tahun menyebabkan penurunan kesuburan dan keberlanjutan fungsi tanah, hal ini disebabkan karena menurunnya jumlah mikrobial tanah. Salah satu cara untuk meningkatkan keberlanjutan fungsi tanah yaitu dengan penambahan inokulan mikrobial ke dalam tanah atau yang biasa disebut sebagai pupuk hayati, salah satunya adalah pupuk hayati Bakteri Pelarut Fosfat (Simanungkalit, 2001).

2. Pupuk hayati Bakteri Pelarut Fosfat dan bahan pembawa inokulum

2.1. Pupuk hayati Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) seperti *Bacillus* sp dan *Pseudomonas* sp merupakan mikrobial tanah yang mempunyai kemampuan melarutkan P tidak tersedia menjadi tersedia. Hal ini

terjadi karena Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) tersebut mampu mensekresi asam-asam organik yang dapat membentuk kompleks stabil dengan kation-kation pengikat P di dalam tanah dan asam-asam organik tersebut akan menurunkan pH dan memecahkan ikatan pada beberapa bentuk senyawa P sehingga akan meningkatkan ketersediaan P dalam larutan tanah (Subba-Rao, 1982).

Beberapa peneliti dibidang teknologi tanah sudah memanfaatkan mikrobia pelarut fosfat sebagai pupuk biologis alias biofertiliser (mikrobia yang dapat menyediakan hara untuk pertumbuhan tanaman). Kelompok mikrobia pelarut fosfat tersebut berasal dari golongan bakteri (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Eschericia*, *Brevibacterium*, dan *Serratia*) dan dari golongan cendawan (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Culvuralia*, *Humicola*, dan *Phoma*). Populasi mikrobia tersebut dalam berkisar dari ratusan sampai puluhan ribu sel per gram tanah. Mikrobia pelarut fosfat menguntungkan karena mengeluarkan berbagai macam asam organik seperti *asam formiat*, *asetat*, *laktat*, *Glikolat*, *fumarat* dan *suksinat*. Asam-asam organik dapat membentuk khelat (kompleks stabil) dengan kation Al, Fe, atau Ca yang mengikat P sehingga ion H_2PO_4 menjadi bebas dari ikatannya dan tersedia bagi tanaman untuk diserap (Cahyo, 2004).

Rata-rata efektifitas pelarutan P oleh Bakteri Pelarut Fosfat diperoleh pada perlakuan bahan pembawa inokulum yang diinokulasikan dengan isolat *Pseudomonas fluorecent*, yaitu 79% pada gambut, 82% pada blotong, dan 88% pada campuran gambut dan blotong (1:1). Nilai-nilai efektifitas terendah terjadi pada perlakuan blotong yang tidak diinokulasikan dengan isolat Bakteri Pelarut Fosfat yaitu 25% (Supriyadi dan Sudadi, 2000)

Bakteri Pelarut Fosfat merupakan mikrobia tanah yang mempunyai kemampuan melarutkan P tidak tersedia menjadi tersedia. Pelarutan P terjadi bukan karena kekurangan P tersedia.

Pelarutan P yang rendah menggambarkan sedikitnya Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) atau kemungkinan terjadinya kekurangan unsur lain selain fosfat seperti C, N, K dan S yang sangat diperlukan untuk metabolisme bakteri (Mujib dan Setyani, 2005).

Hasil penelitian Louw dan Webley (1959) menggunakan berbagai sumber P menunjukkan bahwa beberapa isolat Bakteri Pelarut Fosfat yang digunakan mampu melepaskan atau melarutkan P dari batuan fosfat gafsa (hidroksiapatit) dan kalsium fosfat, tetapi tidak satupun dari isolat tersebut mampu melepaskan P dalam bentuk *variscite* ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *strengite* ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dan *taranakite* ($2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) yang banyak terdapat pada tanah-tanah masam. Hasil ini mengindikasikan bahwa ada perbedaan mekanisme pelepasan P-terikat pada tanah-tanah bereaksi netral dan basa dengan tanah-tanah bereaksi masam.

Premono dan Widiastuti (1994) menggunakan bahan fosfat yang dikombinasikan dengan *Pseudomonas putida* dan diperoleh bahwa kombinasi tersebut dapat menggantikan pupuk, sehingga penggunaan pupuk TSP dapat dikurangi atau sebagian dapat disubstitusi dengan batuan fosfat.

Untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P saat ini mulai dikembangkan kemampuan bakteri dalam mengefektifkan ketersediaan unsur P. Dalam tanah banyak bakteri yang mempunyai kemampuan melepas P dari ikatan Fe, Al, Ca dan Mg sehingga P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman, salah satunya adalah *Pseudomonas*, bakteri tersebut dapat digunakan sebagai *Biofertilizer*. Pelarutan P oleh *Pseudomonas* didahului dengan sekresi asam-asam organik, diantaranya asam sitrat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glioksilat, malat, fumarat. Hasil sekresi tersebut akan berfungsi sebagai katalisator, pengkelat dan memungkinkan asam-asam organik tersebut membentuk senyawa kompleks dengan kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan Al^{3+} sehingga

terjadi pelarutan P menjadi bentuk tersedia yang dapat diserap oleh tanaman. Tetapi dalam pengaplikasiannya ke dalam tanah, pupuk hayati membutuhkan suatu *carrier* (Wulandari, 2001).

2.2. Bahan pembawa inokulum

Bahan pembawa inokulum yang lazim disebut sebagai *carrier* pada dasarnya merupakan suatu bahan yang dapat digunakan sebagai tempat hidup inokulum pupuk hayati sebelum diaplikasikan, sehingga harus dapat mengaktifkan kegiatan mikrobial agar mampu tumbuh dan berkembang pada saat digunakan. Bahan *carrier* yang baik adalah bersifat tidak meracuni mikrobial, kemampuan absorpsi tinggi, mudah disterilkan, dan dihaluskan, mudah menempel pada bahan tanaman (biji misalnya) dan tersedia secara melimpah. Gambut merupakan bahan *carrier* yang selama ini dianggap memenuhi persyaratan tersebut, namun demikian perlu dicari alternatif bahan *carrier* yang lain baik sebagai bahan utama atau sebagai bahan substitusi (Burton, 1979).

Kesuksesan dari inokulan mikrobial tergantung dari beberapa faktor, dimana bahan pembawa (*carrier*) menjadi faktor terpenting. *Carrier* biasanya berbentuk padat, semi padat atau substansi cair, yang dapat mendukung kehidupan bakteri dalam jangka waktu tertentu. Salah satu sifat terpenting yang diperlukan dari bahan pembawa (*carrier*) adalah kemampuannya dalam mempertahankan populasi dari inokulan mikrobial agar tetap tinggi selama jangka waktu penyimpanan (Karnataka, 2007).

Secara kimia kandungan zeolit yang utama adalah: $\text{SiO}_2 = 62,75\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,71\%$; $\text{K}_2\text{O} = 1,28\%$; $\text{CaO} = 3,39\%$; $\text{Na}_2\text{O} = 1,29\%$; $\text{MnO} = 5,58\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,01\%$; $\text{MgO} = 0,85\%$; Clinoptilolit = 30 %; Mordenit = 49 %. Sedangkan nilai KPK antara 80 - 120 me/100 gr, nilai yang tergolong tinggi untuk penilaian tingkat kesuburan tanah. Nilai KPK ini akan menentukan kemampuan bahan tersebut

untuk menyimpan pupuk yang diberikan sebelum diserap tanaman. Secara umum fungsi zeolit bagi lahan pertanian adalah:

1. Meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air irigasi lahan persawahan.
2. Menjaga keseimbangan pH tanah.
3. Mampu mengikat logam berat yang bersifat meracuni tanaman misalnya Pb dan Cd.
4. Mengikat kation dari unsur dalam pupuk misalnya NH_4^+ dari urea K^+ dari KCl, sehingga penyerapan pupuk menjadi efisien (tidak boros).
5. Ramah lingkungan karena menetralkan unsur yang mencemari lingkungan.
6. Memperbaiki struktur tanah (sifat fisik) karena kandungan Ca dan Na.
7. Meningkatkan KPK tanah (sifat kimia).
8. Meningkatkan hasil tanaman.

Bila dibandingkan dengan bahan organik dalam fungsinya sebagai pemantap tanah, maka zeolit akan lebih unggul (Edi, 2004).

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air (Wikipedia, 2008).

Adanya sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, menyebabkan dalam dasawarsa ini, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Sifat-sifat unik tersebut meliputi

dehidrasi, adsorben dan penyaring molekul, katalisator dan penukar ion. Dalam bidang pertanian zeolit dimanfaatkan sebagai penetral keasaman tanah, meningkatkan aerasi tanah, sumber mineral pendukung pada pupuk dan tanah, serta sebagai pengontrol yang efektif dalam pembebasan ion amonium, nitrogen, dan kalium pupuk (Anonim, 2003).

Pupuk-hayati atau secara lebih khusus disebut inokulan mikrobial, didefinisikan sebagai bahan yang mengandung sel-sel mikrobial hidup, yang digunakan untuk perlakuan terhadap benih, tanah atau areal pengomposan untuk tujuan memperbaiki pertumbuhan tanaman. Ada banyak jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pembawa antara lain gambut, lignit, dan pupuk dari lahan pertanian. Pupuk dari lahan pertanian (dengan kandungan bahan organik 79,05%, total Nitrogen 0,93%, Berat jenis 0,79 g/cm³, Berat Volume 1,77 g/cm³, porositas 55,39%, kapasitas menahan air 153,4% dan total luas area 911,1 m²g⁻¹) mampu meningkatkan keberadaan rhizobia lebih tinggi sampai jangka waktu 3 bulan penyimpanan pada temperatur 30°C bila dibandingkan dengan gambut India (Subba Rao, 1982).

3. Potensi kulit pisang sebagai bahan pembawa inokulum

Indonesia merupakan salah satu sentra primer keragaman pisang baik pisang segar, olahan dan pisang liar. Lebih dari 200 jenis pisang terdapat di Indonesia. Tingginya keragaman ini, memberikan peluang pada Indonesia untuk dapat memanfaatkan dan memilih jenis pisang komersial yang dibutuhkan oleh konsumen pisang. Luas panen dan produksi pisang selalu menempati posisi pertama. Dari rata-rata produksi nasional pisang, sekitar 63% berasal dari pulau Jawa, Sumatera 18%, Kalimantan 6%, Sulawesi 6%, Bali dan Nusa Tenggara 8% (Anonim, 2003).

Kadar air yang sangat tinggi terutama pada batang pisang merupakan kendala dalam konsumsi tanaman pisang itu sendiri. Kadar

abu yang tinggi menunjukkan adanya kandungan mineral yang tinggi. Di dalam kandungan yang tinggi ternyata banyak terkandung senyawa mineral, senyawa fenol, dan senyawa gula sederhana; sedangkan di dalam bonggol terdapat senyawa pati yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Pemberian bagian tanaman pisang biasanya dicampur dengan bahan lain sebagai sumber protein atau energi (Ardian, 2001).

Pisang (*Musa paradisiaca L*) merupakan tanaman buah-buahan yang tumbuh dan tersebar di seluruh Indonesia. Negara Indonesia merupakan penghasil pisang terbesar di Asia. Pisang dapat dikonsumsi secara langsung dan ada yang diolah dulu, jika diolah menghasilkan limbah padat berupa kulit pisang. Sisa pengolahan ini masih dapat diekstrak dan dimanfaatkan untuk menghasilkan produk-produk yang berguna. Kulit pisang selain digunakan sebagai pakan ternak, dapat diekstrak kandungan pektin di dalamnya. Pektin merupakan senyawa hidrokoloid karbohidrat yang terdapat pada jaringan tanaman muda dan buah. Selain itu pektin dapat menyerap air 40-100 kali volumenya (Hanifah, 2004).

Pemanfaatan buah pisang sebagai bahan pangan masyarakat, ternyata menghasilkan limbah berupa kulit pisang yang sampai saat ini masih belum banyak dimanfaatkan secara produktif, bahkan biasanya hanya dibuang sebagai sampah. Dengan kemajuan teknologi pengolahan, usaha-usaha ke arah peningkatan pemanfaatan pisang dalam bentuk-bentuk lain dapat memperkuat nilai ekonomisnya, misalnya dalam bentuk tepung pisang, sale, kue lecker, kue mollen dan dikonsumsi sebagai buah segar (Hasnati, 2005).

Kulit pisang mengandung karbohidrat yang tinggi (18,5%), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembunuh larva serangga yang efektif, dengan cara kulit pisang dihancurkan dulu hingga berbentuk larutan cair. Selanjutnya larutan ini diberi bakteri *Bacillus Thuringiensis* yang berfungsi sebagai toksik yang dapat merusak pencernaan serangga.

Agar proses fragmentasi berjalan baik, sebelumnya larutan kulit pisang diberi urea secukupnya (Anggraeni dan Sian, 2004).

Tabel 2.1 Komposisi kulit pisang:

Unsur	Satuan	Jumlah
Air	(%)	68,90
Karbohidrat	(%)	18,50
Lemak	(%)	2,11
Protein	(%)	0,32
Kalsium	(mg/100g)	715
Fosfor	(mg/100g)	117
Besi	(mg/100g)	1,60
Vitamin B	(mg/100g)	0,12
Vitamin C	(mg/100g)	17,50

(Anonim, 2004)

Potensi buah-buahan lokal Nusantara untuk dikembangkan sebagai bahan makanan sudah terbukti. Salah satu buah tersebut yakni pisang. Buah ini selain bisa dimakan saat segar juga bisa dibuat berbagai jenis makanan, seperti ceriping, dan sale. Selama ini masyarakat telah mengenal produk nata de coco atau nata yang dibuat dari air kelapa. Nata dari kulit pisang sebenarnya sama dengan nata de coco, bedanya nata pisang dibuat dari bahan dasar kulit pisang (Erwin, 2006).

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah, Laboratorium Biologi Tanah, dan Ruang Isolasi dan Inkubasi Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, pada bulan Mei 2007 sampai dengan bulan Oktober 2007.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah limbah kulit pisang dari beberapa *home industri* sale di Kab. Kendal, Zeolit, inokulum Bakteri Pelarut Fosfat (*Bacillus megatherium* dan *Pseudomonas putida*), media pikovskaya, dan kemikalia untuk analisis laboratorium (mikrobiologi dan kimia).

Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah plastik, botol kaca, karet, kertas pembungkus, kapas, dan alat-alat yang digunakan untuk analisis laboratorium.

C. Perancangan penelitian dan Analisis data

1. Perancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian destruktif yang pendekatan variabelnya melalui suatu percobaan dengan rancangan dasar Rancangan Acak Lengkap dengan pola faktorial yang terdiri dari 3 faktor. Adapun faktornya adalah sebagai berikut :

Faktor 1: Bahan pembawa (C)

C1 : kulit pisang 120 g

C2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g

C3 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g

Faktor 2 : Macam Inokulum (I)

I1 : *Pseudomonas putida*

I2 : *Bacillus megatherium*

Pemberian inokulum Bakteri Pelarut Fosfat sebanyak $1,5 \times 10^5$ CFU per gram bahan pembawa (Supriyadi dan Sudadi, 1998).

Faktor 3 : Waktu Inkubasi (T)

T1 : Minggu ke-2

T2 : Minggu ke-4

T3 : Minggu ke-6

Dengan demikian diperoleh 18 kombinasi perlakuan dan masing-masing diulang 3 kali. Kombinasi perlakuan selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3.1. Kombinasi perlakuan antara komposisi carrier, jenis inokulum dan waktu inkubasi

Perlakuan		Lama Inkubasi (hari)		
Carrier	Inokulum	T1	T2	T3
C1	I1	C1I1	C1I1	C1I1
	I2	C1I2	C1I2	C1I2
C2	I1	C2I1	C2I1	C2I1
	I2	C2I2	C2I2	C2I2
C3	I1	C3I1	C3I1	C3I1
	I2	C3I2	C3I2	C3I2

2. Analisis Statistik

Analisis data dilakukan dengan mengaplikasikan software Minitab 13.20 dan SPSS 11. Data hasil penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan adalah uji F taraf 5% jika data normal atau uji Kruskal-Wallis jika data tidak normal. Untuk membandingkan rerata antar kombinasi perlakuan menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) jika didapatkan data dengan sebaran normal, atau uji Mood Median jika didapatkan sebaran data tidak normal. Untuk mengetahui keeratan hubungan antar perlakuan menggunakan uji Korelasi.

3. Tata laksana Penelitian

1. Pemeliharaan biakan

Biakan murni bakteri pelarut fosfat disimpan dalam lemari pendingin (4°C) sebagai biakan stok pada media nutrien agar. Biakan

murni diperoleh dari PAU Bioteknologi Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

2. Penyiapan inokulum (*pre culture*)

Bacillus megatherium dan *Pseudomonas putida* ditumbuhkan dalam media Pikovskaya cair yang di shaker dengan kecepatan 100 rpm selama 48 jam pada suhu kamar. Setelah tumbuh, biakan siap untuk dinokulasikan ke bahan carrier.

3. Penyiapan bahan carier BPF

- Kulit pisang dan Zeolit

Kulit pisang segar diperoleh dari beberapa home industri sale di Kab. Kendal, kemudian dihaluskan dan disaring dengan ayakan diameter 0,5 mm. Zeolit dihaluskan dan disaring dengan ayakan diameter 0,5 mm.

- Pencampuran bahan carrier

Bahan-bahan carrier yang sudah disiapkan dicampur hingga homogen, sesuai dengan perlakuannya. Selanjutnya bahan pembawa tersebut disterilkan dengan outoklaf (121°C selama 30 menit). Bahan pembawa yang sudah steril ditambah inokulum Bakteri Pelarut Fosfat sesuai dengan perlakuan ($1,5 \times 10^5$ CFU/g bahan pembawa) kemudian diinkubasikan selama 6 minggu.

D. Variabel Pengamatan

a). Untuk menjawab pertanyaan penelitian 1, benarkah kulit pisang dapat digunakan sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat, maka dilakukan pengukuran variabel :

1. Jumlah Bakteri Pelarut Fosfat (metode Plate Count dengan media selektif Pikovskaya)
2. pH H_2O (perbandingan bahan : H_2O = 1: 2,5)
3. P total (ekstrak HClO_4 , HNO_3 pekat)
4. Bahan organik(metode Walkey and Black)

b). Untuk menjawab pertanyaan penelitian 2, bagaimana karakteristik pertumbuhan Bakteri Pelarut Fosfat pada bahan pembawa kulit pisang, maka dilakukan pengukuran variabel pada minggu ke-2, minggu ke-4, dan minggu ke-6, yaitu :

1. Jumlah Bakteri Pelarut Fosfat (metode Plate Count dengan media selektif Pikovskaya)
2. Aktivitas fosfatase (secara kualitatif dengan membandingkan besarnya diameter zone bening)

c). Variabel pendukung yang diperlukan meliputi analisis awal bahan carrier, yaitu :

1. N total (metode Kjeldhal)
2. C/P ratio dan C/N ratio
3. pH H₂O (perbandingan bahan : H₂O = 1 : 2,5)
4. Bahan organik (metode Walkey and Black)
5. P total (ekstrak HClO₄, HNO₃ pekat)

IV.

HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Awal Sifat-sifat Bahan Pembawa Inokulum

Pada penelitian ini menggunakan tiga macam bahan pembawa, dimana hasil analisis awal terhadap sifat-sifat bahan pembawa inokulum tersebut disajikan selengkapnya pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sifat-sifat bahan pembawa inokulum

No	Kandungan Hara	kulit pisang 120 g	kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g	kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g
1	pH (H ₂ O)	5,4	5,6	6,2
2	Kadar air	90	72	56
3	C-organik (%)	51,74	39,74	29,92
4	N total (%)	0,23	0,48	1,61
5	Ratio C/N	224,96	82,79	18,58
6	Bahan Organik (%)	89,21	68,35	51,46
7	P total (%)	0,18	0,13	0,11
8	Ratio C/P	281,19	301,06	274,49

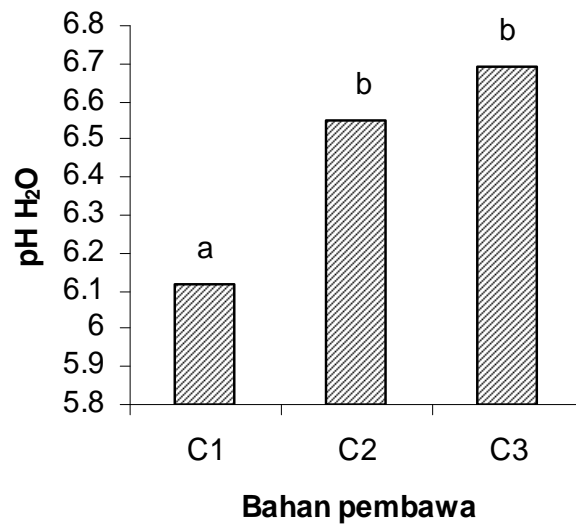
Sumber : Hasil analisis Laboratorium, Agustus 2007

Menurut Burton (1979), bahan *carrier* yang baik adalah bersifat tidak meracun mikrobia, kemampuan absorpsi tinggi, mudah disterilkan, dan dihaluskan, mudah menempel pada bahan tanaman (biji misalnya) dan tersedia secara melimpah. Pisang (*Musa paradisiaca L*) merupakan tanaman buah-buahan yang tumbuh dan tersebar di seluruh Indonesia. Negara Indonesia merupakan penghasil pisang terbesar di Asia (Cahyono, 1995), sehingga menyebabkan melimpahnya kulit pisang. Kadar air dari ketiga macam bahan pembawa yang digunakan dalam penelitian ini tergolong tinggi, hal ini disebabkan karena adanya pektin, yaitu senyawa hidrokoloid karbohidrat yang terdapat pada jaringan tanaman muda dan buah yang dapat menyerap air 40-100 kali volumenya (Hanifah, 2004), selain itu kadar bahan organik dan N totalnya tergolong tinggi, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber nutrisi untuk mendukung aktivitas pertumbuhan Bakteri Pelarut Fosfat.

Ada banyak jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pembawa antara lain kompos, kompos + arang (1:1), lempung (vermikulit) dan pupuk dari lahan pertanian (dengan besarnya nilai Bahan organiknya berkisar antara 42,71% - 79,05%, kandungan Nitrogennya berkisar antara 0,01% - 1,14%, Berat jenis $0,46 \text{ g/cm}^3 - 0,79 \text{ g/cm}^3$, Berat Volume $1,65 \text{ g/cm}^3 - 1,67 \text{ g/cm}^3$, porositas 55,39% - 71,96 %, kapasitas menahan air 153,4% - 219,9% dan total luas area $821,1 \text{ m}^2\text{g}^{-1} - 911,1 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (Tilak dan Subba-Rao *cit* Subba-Rao 1982), sehingga dapat dikatakan bahwa bahan organik dan kandungan N total kulit pisang berada diantara kisaran. Dengan berbagai keunggulan nutrisi pada kulit pisang dan dengan pertimbangan mudah diperoleh, maka kulit pisang berpotensi digunakan sebagai bahan pembawa inokulum Bakteri Pelarut Fosfat.

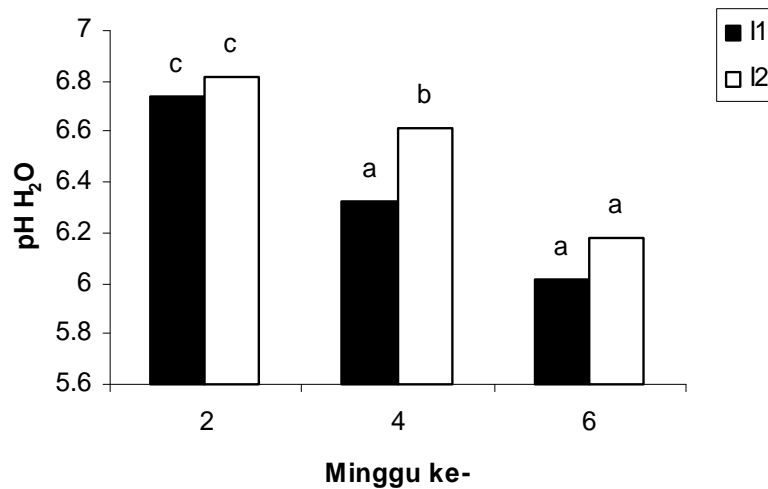
B. pH H₂O

Salah satu karakteristik suatu bahan pembawa adalah pH, karena pH menentukan kehidupan Bakteri Pelarut Fosfat. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis pH. Berdasarkan uji F terhadap pH H₂O setelah inkubasi 6 minggu (Lampiran 8) menunjukkan bahwa macam carrier ($P=0.000$), macam inokulum ($P=0.000$), dan waktu inkubasi ($P=0.000$) berpengaruh sangat nyata terhadap pH H₂O, interaksi antara macam inokulum dengan waktu inkubasi ($P=0.000$) juga berpengaruh sangat nyata terhadap pH H₂O.



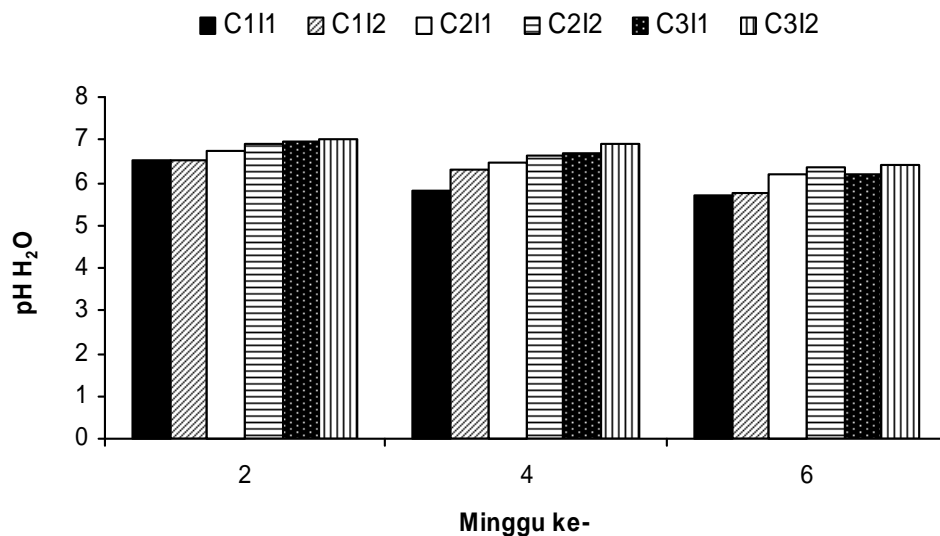
Gambar 4.1. Pengaruh bahan pembawa terhadap pH H₂O selama inkubasi 6 minggu (purata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMR 5%; C1 : kulit pisang 120 g, C2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g, dan C3 : kulit pisang 60 g+ Zeolit 60 g).

Hasil DMRT yang disajikan pada Gambar 4.1. menunjukkan bahwa perlakuan C1 (limbah kulit pisang 120 g) paling berbeda nyata antar perlakuan bahan pembawa yang lain terhadap pH H₂O. Hal ini disebabkan karena sifat zeolit, yaitu zeolit mengalami proses hidrolisis silikat yang menghasilkan ion OH⁻ yang dapat menyebabkan pH tanah menjadi naik (Andyanta et al., 2000).



Gambar 4.2. Pengaruh interaksi macam inokulum dan waktu inkubasi terhadap pH H₂O selama inkubasi 6 minggu (purata yang diikuti huruf yang sama pada berbagai waktu inkubasi menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMR 5%; I1: *Pseudomonas putida*, dan I2 : *Bacillus megatherium*)

Hasil DMRT yang disajikan pada Gambar 4.2. menunjukkan bahwa interaksi macam inokulum dan waktu inkubasi berbeda nyata pada inkubasi minggu ke-4. Hal ini disebabkan karena pada inkubasi minggu ke-4 merupakan fase eksponensial dimana perbanyakan sel tidak mendapat gangguan karena nutrisi atau sumber energi berada dalam kondisi tak terbatas (Mansur *et al.*, 2003). Ditambah lagi inokulum *Bacillus sp* dan *Pseudomonas sp* mempunyai sifat yang berbeda, yaitu inokulum *Bacillus sp* mempunyai sifat-sifat yang lebih rendah bila dibanding dengan inokulum *Pseudomonas sp* dalam hal kemampuan membentuk asam organik yang sedikit dan penurunan pH yang lambat (Supriyadi dan Sudadi, 1998). Selain itu *Pseudomonas putida* merupakan bakteri mesofil (yang hidup pada kisaran 15-55°C) sedangkan *Bacillus megatherium* merupakan bakteri termofil (yang hidup pada kisaran 40-75°C).



Gambar 4.3. Pengaruh perlakuan terhadap pH H₂O selama inkubasi 6 minggu

Keterangan :

C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*

Pada Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa pada inkubasi selama 6 minggu pH mengalami penurunan, dengan nilai pH terendah terjadi pada perlakuan C1I1 (limbah kulit pisang 120 g dengan pemberian inokulum *Pseudomonas putida*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 5,70 dan nilai tertinggi terjadi pada perlakuan C3I2 (limbah kulit pisang 60 g dan zeolit 60 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 6,64.

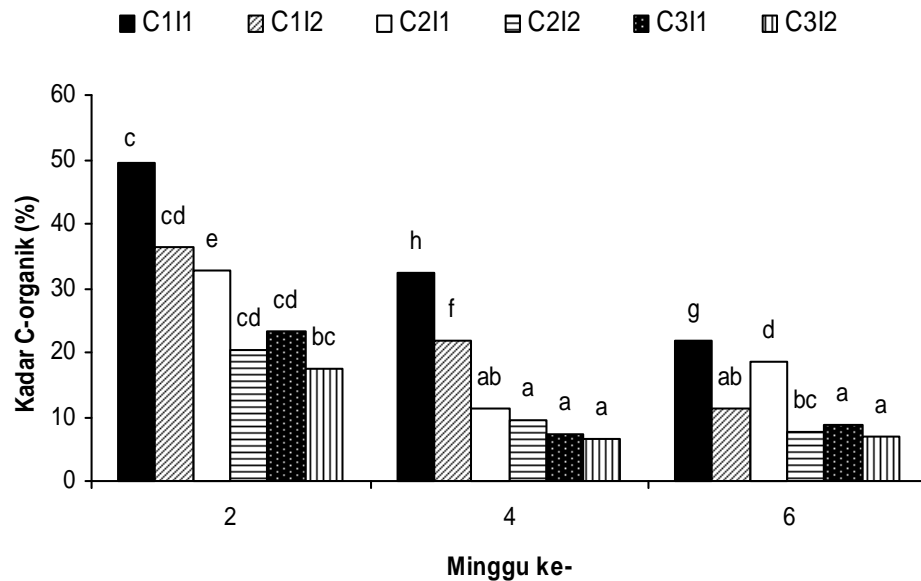
Dari hasil analisis korelasi (lampiran 9) menunjukkan bahwa pH H₂O mempunyai keeratan hubungan yang nyata dengan P total ($P=0,000$; $r= -0,594$) dan jumlah BPF ($P= 0,0035$; $r= 0,288$). Artinya setiap peningkatan pH akan meningkatkan jumlah BPF dan menurunkan P total. Hal ini disebabkan karena pertumbuhan optimum Bakteri Pelarut Fosfat berkisar pada pH netral dan meningkat seiring dengan meningkatnya pH

(Simanungkalit *et al.*, 2006). Fosfat diperlukan oleh mikrobia, tidak saja sebagai bahan penyusun sel, tetapi juga sebagai sumber energi untuk semua kegiatan metabolisme di dalam sel. Oleh karena itu mikrobia memerlukan fosfat dalam jumlah yang tidak sedikit. Dalam hal ini mikrobia tanah dapat memanfaatkan P organik dan atau P anorganik sebagai sumber P dalam hidupnya (Mansur *et al.*, 2003).

C. Sumber nutrisi

1. C-organik

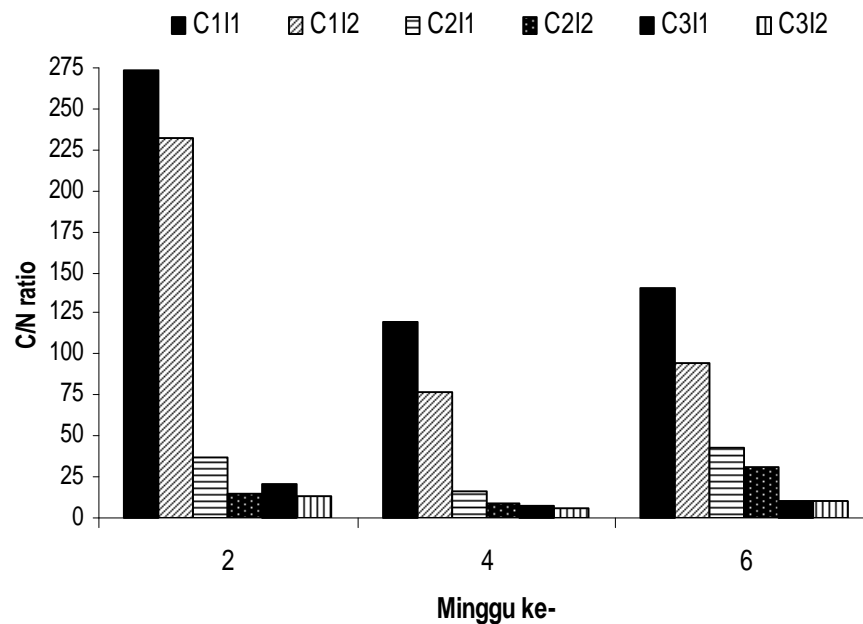
Suatu bahan pembawa selain diharuskan dapat mempertahankan maupun meningkatkan jumlah mikrobia dalam jangka waktu yang lama, juga harus dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi inokulum mikrobia tersebut. Seperti yang diungkapkan Mansur *et al.*, (2003) yaitu bahan organik merupakan sumber energi untuk makro dan mikrofauna tanah. Komponen bahan organik yang berperan sebagai sumber C, N dan energi bagi mikrobia tanah adalah karbohidrat dan asam-asam amino. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisa C-organik. Berdasarkan uji F setelah inkubasi selama 6 minggu (Lampiran 8) menunjukkan bahwa macam carrier ($P = 0.000$), dan macam inokulum ($P = 0.009$) berpengaruh sangat nyata terhadap C-organik, interaksi antara macam carrier, macam inokulum dan waktu inkubasi ($P = 0.000$) juga berpengaruh sangat nyata terhadap C-organik.



Gambar 4.4. Pengaruh perlakuan terhadap C-organik (%) selama inkubasi 6 minggu (purata yang diikuti huruf yang sama pada berbagai waktu inkubasi menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMR 5%)

Keterangan :

- C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*



Gambar 4.5. Pengaruh perlakuan terhadap C/N ratio selama inkubasi 6 minggu

Keterangan :

- C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*

Pada Gambar 4.4. dapat diketahui bahwa selama 6 minggu inkubasi C-organiknya mengalami penurunan, dengan nilai C-organic terendah terjadi pada perlakuan C3I2 (limbah kulit pisang 60 g dan zeolit 60 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 11,28% dan nilai tertinggi terjadi pada perlakuan C1I1 (limbah kulit pisang 120 g dengan pemberian inokulum *Pseudomonas putida*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 55,9%. Hal ini disebabkan karena laju dekomposisi bahan organik tergantung pada macam bahan organik, kondisi kimia dan fisik

lingkungan dan mikrobial pendekomposernya. Perombakan bahan organik dengan nisbah C/N yang rendah lebih mudah terdekomposisi sehingga lebih cepat menyediakan unsur hara (Stevenson, 1982). Seperti halnya yang dikemukakan oleh Mansur *et al* (2003) bahan organik yang berasal dari jaringan binatang lebih mudah terdekomposisi daripada yang berasal dari jaringan tanaman. Hal ini terkait dengan komposisi bahan penyusun sel masing-masing organisme tersebut. Sel tanaman terutama tersusun atas senyawa karbon dalam bentuk selulose, hemiselulose, lignin, sedangkan kandungan protein hanya sekitar 10%.

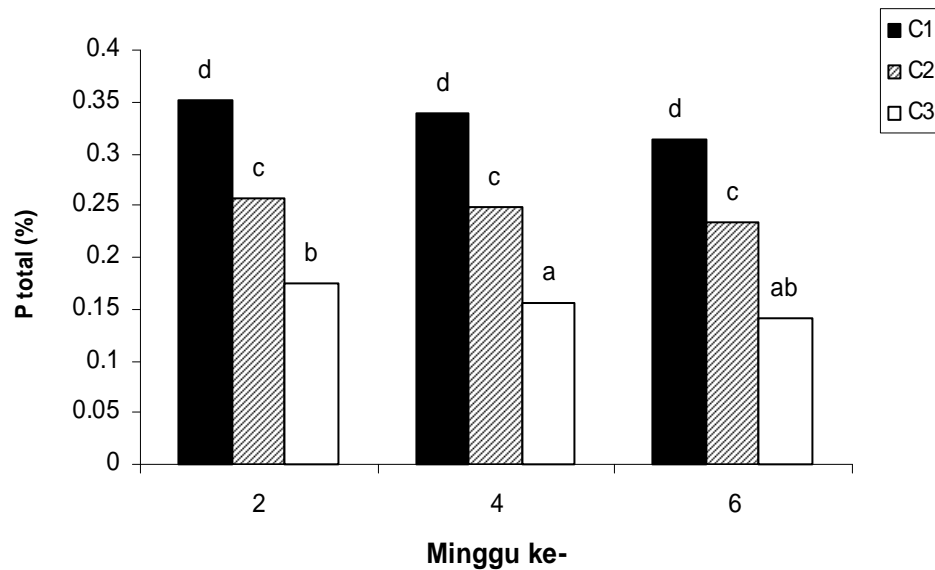
Dari hasil analisis korelasi (lampiran 9) menunjukkan bahwa C-organik mempunyai keeratan hubungan yang nyata dengan pH ($P=0,000$; $r= -0,395$), jadi setiap peningkatan C-organik maka akan diikuti dengan penurunan pH. Hal ini disebabkan karena penambahan bahan organik yang belum matang (misal : pupuk hijau) dan bahan organik yang masih mengalami proses dekomposisi biasanya akan menyebabkan penurunan pH, karena selama proses dekomposisi akan dilepaskan asam-asam organik yang menyebabkan menurunnya pH (Wongsoatmojo, 2000). Karbon organik juga mempunyai keeratan hubungan yang nyata dengan C/N ($P= 0,000$; $r=0,877$) dan C/P ($P=0,000$; $r=0,969$). Hal ini karena meningkat dan menurunnya nisbah C/N dan C/P sejalan dengan bertambah dan berkurangnya konsentrasi C (Mansur *et al.*, 2003).

Selain itu C-organik juga mempunyai keeratan hubungan yang nyata dengan jumlah BPF ($P= 0,0035$; $r= -0,288$) dan Ø zone bening ($P= 0,002$; $r= 0,403$). Hal ini disebabkan karena besar kecilnya zone bening ditentukan oleh aktifitas enzim fosfatase (Subba-Rao, 1982). Aktifitas enzim fosfatase meningkat dengan bertambahnya substrat karbon karena Bakteri Pelarut Fosfat meningkat dengan bertambahnya substrat karbon (Supriyadi dan Sudadi, 1998).

2. P total

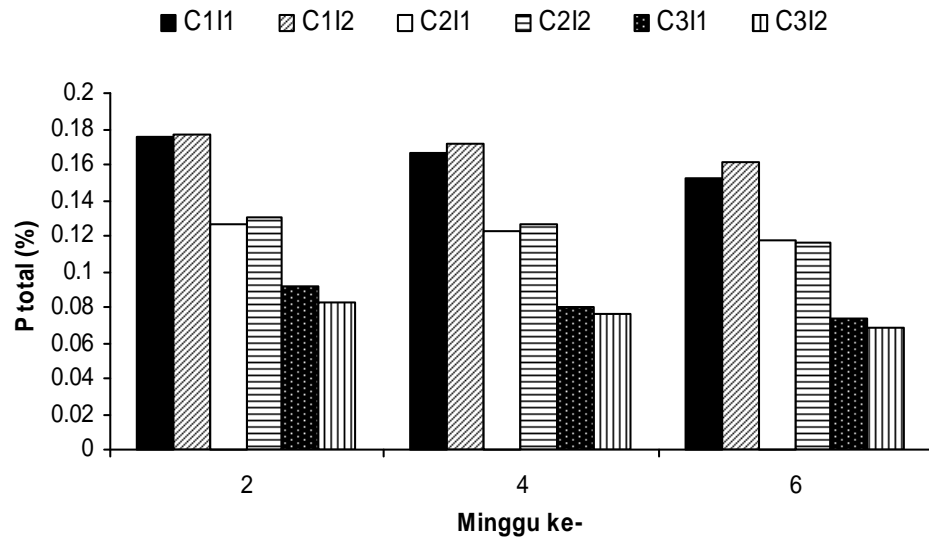
Suatu bahan pembawa selain harus dapat mempertahankan maupun meningkatkan jumlah mikrobial dalam jangka waktu yang lama, juga harus dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi inokulum mikrobial tersebut (Subba-rao, 1982). Bakteri Pelarut Fosfat memerlukan fosfat dalam jumlah yang tidak sedikit, dalam hal ini Bakteri Pelarut Fosfat dapat memanfaatkan P organik dan atau P anorganik sebagai sumber P dalam hidupnya (Mansur *et al.*, 2003). Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisa P total.

Berdasarkan uji F setelah inkubasi selama 6 minggu (Lampiran 8) menunjukkan bahwa macam carrier ($P = 0.003$), waktu inkubasi ($P = 0.000$) serta interaksi antara keduanya ($P = 0.008$) berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan P total.



Gambar 4.6. Interaksi bahan pembawa dan waktu inkubasi terhadap P total (%) selama inkubasi 6 minggu (purata yang diikuti huruf yang sama pada berbagai waktu inkubasi menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMR 5%; C1 : kulit pisang 120 g, C2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g, dan C3 : kulit pisang 60 g+ Zeolit 60 g).

Hasil DMRT yang disajikan pada Gambar 4.6. menunjukkan bahwa pada P total setiap bahan pembawa pada setiap waktu inkubasi berbeda tidak nyata, sedangkan P total antar ketiga macam bahan pembawa berbeda nyata. Hal ini disebabkan karena pH pada setiap perlakuan berbeda-beda, sehingga mempengaruhi dalam proses mineralisasi P. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mansur *et al.*(2003) yaitu tingkat mineralisasi P akan dirangsang apabila terjadi penyesuaian pH tanah dengan pH optimum untuk metabolisme mikrobial penghasil fosfatase.



Gambar 4.7. Pengaruh perlakuan terhadap P total (%) selama inkubasi 6 minggu

Keterangan :

C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*

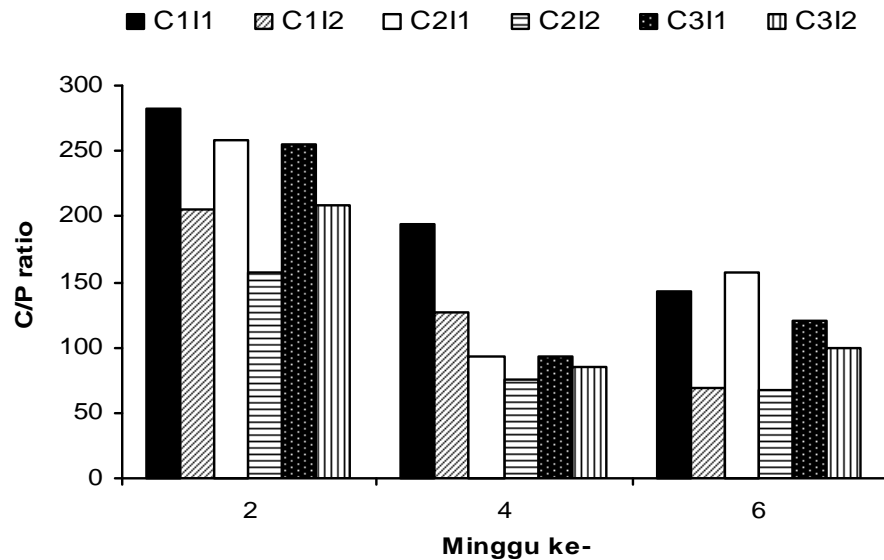
C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C3I1 : kulit pisang 60 g+ Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C3I2 : kulit pisang 60 g+ Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*



Gambar 4.8. Pengaruh perlakuan terhadap C/P ratio selama inkubasi 6 minggu

Keterangan :

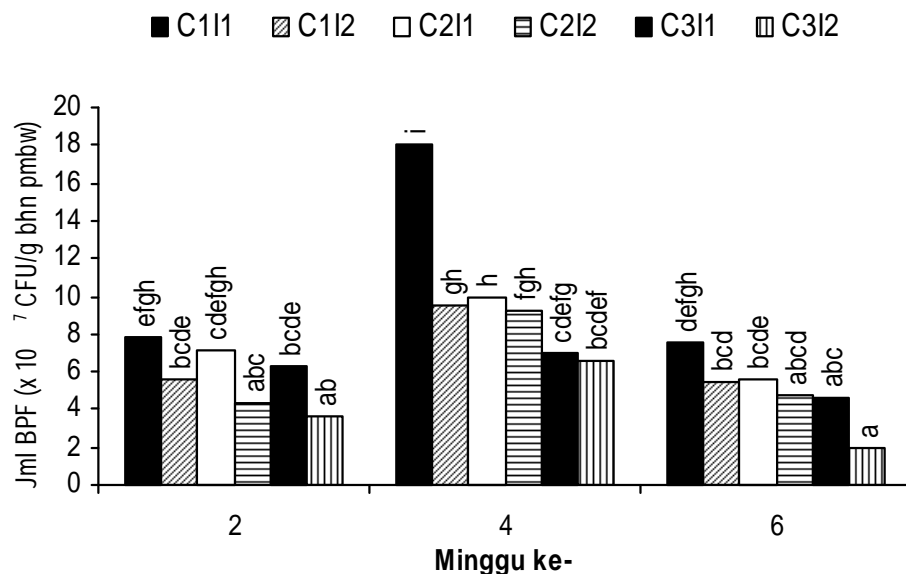
- C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*

Dari Gambar 4.7. dapat diketahui bahwa selama inkubasi 6 minggu terjadi penurunan P total, dengan nilai P total terendah terjadi pada perlakuan C3I2 (limbah kulit pisang 60 g dan zeolit 60 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 0,068%. Sedangkan nilai tertinggi terjadi pada perlakuan C1I2 (limbah kulit pisang 120 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 0,161%. Hal ini disebabkan karena dalam proses mineralisasi akan dilepas mineral-mineral hara tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg, dan S serta hara makro) dalam jumlah tidak tentu dan relatif kecil. Hara

N, P, dan S merupakan hara yang relatif lebih banyak untuk dilepas (Wongsoatmojo, 2000). Adanya C-organik sebagai hasil dari dekomposisi bahan organik menyebabkan pH mengalami penurunan, pH yang rendah akan menghambat metabolisme mikrobial penghuni fosfatase dalam melakukan mineralisasi (Mansur *et al.*, 2003).

D. Jumlah Bakteri Pelarut Fosfat

Salah satu karakteristik suatu bahan dapat digunakan sebagai *carrier* adalah dapat mempertahankan maupun meningkatkan jumlah inokulum mikrobial dalam jangka waktu yang lama (Subba-rao, 1982). Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisa jumlah Bakteri Pelarut Fosfat. Berdasarkan uji F setelah inkubasi selama 6 minggu (Lampiran 8) menunjukkan bahwa macam *carrier* ($P = 0.004$), dan waktu inkubasi ($P = 0.000$) berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah Bakteri Pelarut Fosfat, interaksi antara macam *carrier*, macam inokulum dan waktu inkubasi juga berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah Bakteri Pelarut Fosfat.



Gambar 4.9. Pengaruh perlakuan terhadap jumlah BPF ($\times 10^7$ CFU) selama inkubasi 6 minggu (Purata yang diikuti huruf yang sama pada berbagai waktu inkubasi menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMRT 5%)

Keterangan :

C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*

C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*

C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*

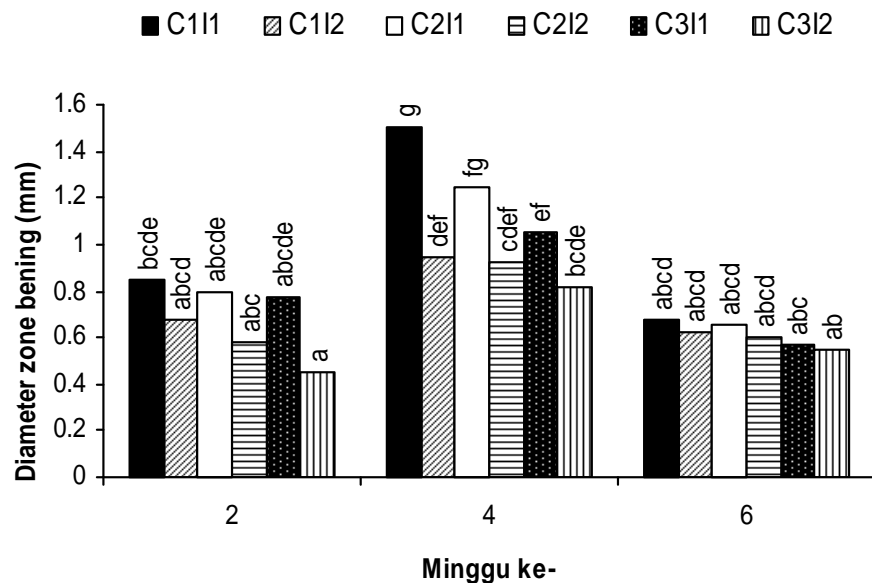
Dari Gambar 4.9. dapat diketahui bahwa selama inkubasi 6 minggu terjadi penurunan jumlah Bakteri Pelarut Fosfat, dengan jumlah BPF terendah terjadi pada perlakuan C3I2 (limbah kulit pisang 60 g dan zeolit 60 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 2×10^7 CFU/g bahan pembawa. Sedangkan jumlah BPF tertinggi terjadi pada perlakuan C1I1 (limbah kulit pisang 120 g dengan pemberian inokulum *Pseudomonas putida*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar $7,6 \times 10^7$ CFU/g bahan

pembawa. Hal ini diduga karena pada kondisi ini inokulum *Pseudomonas putida* mendapatkan sumber nutrisi yang cukup untuk pertumbuhan dan aktivitasnya. Hal ini dapat terlihat dari menurunnya kandungan bahan organik dan P total pada C111. Seperti halnya yang dikemukakan oleh Subba-Rao (1994), yaitu pada waktu mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak pada sampah organik, digunakan karbon untuk menyusun bahan selulose sel-sel mikrobial dengan membebaskan CO₂, metan dan bahan-bahan yang mudah menguap.

Dari hasil analisis korelasi (lampiran 9) menunjukkan bahwa Bakteri Pelarut Fosfat mempunyai keeratan hubungan yang nyata dengan Ø zone bening ($P=0,000$; $r= 0,701$). Hal ini disebabkan karena potensi Bakteri Pelarut Fosfat untuk melarutkan Fosfat tidak tersedia (aktifitas enzim fosfatase) secara kualitatif dapat dilihat dari besarnya diameter zone bening (Simanungkalit *et al.*, 2006). Hal ini didukung oleh pernyataan Supriyadi dan Sudadi (1998), yaitu aktifitas enzim fosfatase akan meningkat seiring dengan bertambahnya substrat karbon, karena bakteri pelarut fosfat akan bertambah dengan bertambahnya substrat karbon.

Dari Gambar 4.9. juga dapat diketahui bahwa setelah inkubasi selama 6 minggu terjadi peningkatan populasi bakteri pelarut fosfat dari minggu ke-2 ke minggu ke-4 dan mengalami penurunan pada minggu ke-6. Peningkatan populasi bakteri pelarut fosfat disebabkan karena pada tahap ini merupakan fase eksponensial dimana perbanyakan sel tidak mendapatkan gangguan atau ketersediaan nutrisi dalam keadaan tak terbatas, sehingga kecepatan pertumbuhan ditentukan oleh komposisi media dan faktor lingkungan hidup. Sedangkan penurunan populasi bakteri pelarut fosfat disebabkan karena berkurangnya kandungan nutrisi sehingga terjadi kompetisi antara bakteri pelarut fosfat untuk memperoleh nutrisi (Mansur *et al.*, 2003).

Mineralisasi fosfor merupakan hasil dari proses enzim yang disebut fosfatase yang berperan melarutkan fosfat dari senyawa fosfat organik ke dalam larutan tanah (Slyvina *et al.*, 2005). Pengukuran aktifitas fosfatase dapat dilakukan secara kualitatif yaitu dengan membandingkan diameter zone bening (Subba-Rao, 1982).



Gambar 4.10. Pengaruh perlakuan terhadap diameter Zone bening (mm) selama inkubasi 6 minggu (purata yang diikuti huruf yang sama pada berbagai waktu inkubasi menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji DMR 5%)

Keterangan :

- C1I1 : kulit pisang 120 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C1I2 : kulit pisang 120 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C2I1 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C2I2 : kulit pisang 90 g + Zeolit 30 g + inokulum *Bacillus megatherium*
- C3I1 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Pseudomonas putida*
- C3I2 : kulit pisang 60 g + Zeolit 60 g + inokulum *Bacillus megatherium*

Berdasarkan uji F setelah inkubasi selama 6 minggu (Lampiran 8) menunjukkan bahwa waktu inkubasi ($P = 0.000$) berpengaruh sangat

nyata terhadap diameter zone bening. Dan interaksi antara macam carrier, macam inokulum dan waktu inkubasi ($P= 0.016$) berpengaruh nyata terhadap diameter zone bening.

Hasil DMRT yang disajikan pada Gambar 4.10. menunjukkan bahwa selama inkubasi 6 minggu terjadi penurunan diameter zone bening, dengan nilai terendah terjadi pada perlakuan C3I2 (limbah kulit pisang 60 g dan zeolit 60 g dengan pemberian inokulum *Bacillus megatherium*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 0,55 mm. Sedangkan nilai tertinggi terjadi pada perlakuan C1I1 (limbah kulit pisang 120 g dengan pemberian inokulum *Pseudomonas putida*) dengan nilai rerata akhir perlakuan sebesar 0,68 mm. Hal ini sesuai dengan Jumlah Bakteri Pelarut Fosfat pada perlakuan ini yang menunjukkan jumlah yang tertinggi. Selain itu pada perlakuan C1I1 kandungan bahan organik dan P totalnya mengalami penurunan pada minggu 6. Hal ini menunjukkan bahwa C organik dan P total digunakan mikrobia sebagai sumber energi dan nutrisi untuk pertumbuhan dan aktivitasnya (Black, 1999). Hal ini didukung oleh pernyataan Supriyadi dan Sudadi (1998), yaitu aktifitas enzim fosfatase akan meningkat seiring dengan bertambahnya substrat karbon, karena bakteri pelarut fosfat akan bertambah dengan bertambahnya substrat karbon.

E. Kesesuaian kulit pisang sebagai bahan pembawa (*carrier*)

Karakteristik suatu bahan sebagai bahan pembawa pupuk hayati dapat dilihat dari kemampuannya dalam mempertahankan jumlah inokulum mikrobia (Subba-rao, 1982). Dari hasil penelitian Premono dan Widyastuti (1994) media pembawa kompos-zeolit (9:1) yang disimpan pada suhu 28°C merupakan bahan pembawa yang terbaik bagi *Pseudomonas putida* bila dibandingkan dengan gambut. Selain itu *Pseudomonas putida* mampu bertahan pada jangka waktu 16 minggu penyimpanan dengan populasi sebesar $(4-44) \times 10^{10}$ CFU/g bahan pembawa. Pada *carrier* yang mengandung kulit pisang ini *Pseudomonas*

putida pada jangka waktu 6 minggu penyimpanan, jumlah koloninya mengalami peningkatan hingga minggu ke-4 (dengan rata-ratanya sebesar $11,6 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan mengalami penurunan pada minggu ke-6 ($5,8 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa). Sedangkan untuk *Bacillus megghaterium* pada jangka waktu 6 minggu penyimpanan, jumlah koloninya mengalami peningkatan hingga minggu ke-4 (dengan rata-ratanya sebesar $8,4 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan mengalami penurunan pada minggu ke-6 ($4,1 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa). Jadi dapat disimpulkan bahwa kulit pisang kurang baik sebagai *carrier* BPF karena hanya mampu mempertahankan jumlah populasi BPF tertinggi hingga minggu ke-4 dan setelah itu mengalami penurunan.

F. Viabilitas Bakteri Pelarut Fosfat pada berbagai macam *carrier*

Viabilitas Bakteri Pelarut Fosfat di dalam *carrier* dapat dilihat dari tren jumlah koloninya, aktifitas enzim fosfatase (yang diukur secara kualitatif dengan membandingkan besarnya diameter zone bening) dan kemampuan merombak fosfat. Pada penelitian ini digunakan tiga macam *carrier*, yaitu limbah kulit pisang 120g, limbah kulit pisang 90 g + zeolit 30 g dan , limbah kulit pisang 60 g + zeolit 60 g.

Dari Gambar 4.11. dapat diketahui bahwa pada *carrier* yang sama, *Pseudomonas putida* menunjukkan viabilitas yang lebih baik daripada *Bacillus megghaterium*, yang ditunjukkan oleh lebih banyaknya jumlah koloni dan lebih besarnya diameter zone bening (Gambar 4.11. A, C, dan E). Pada *Pseudomonas putida* menunjukkan viabilitas tertinggi pada *carrier* limbah kulit pisang 120g dibanding *carrier* yang lain. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah koloni hingga minggu ke-4 (dari $1,5 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa menjadi $18,1 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan meskipun mengalami penurunan pada minggu ke-6 ($7,6 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) tetapi masih menunjukkan jumlah populasi yang lebih tinggi dibanding *carrier* yang lain. Peningkatan jumlah koloni *Pseudomonas putida* diikuti dengan peningkatan

diameter zone beningnya hingga minggu ke-4 (1,5 mm) dan meskipun mengalami penurunan pada minggu ke-6 (0,68 mm) tetapi masih menunjukkan diameter zone bening yang lebih besar dibanding carrier yang lain.

Daya viabilitas *Bacillus megghaterium* pada *carrier* limbah kulit pisang 90 g + zeolit 30 g dan limbah kulit pisang 60 g + zeolit 60 g adalah hampir sama dengan rata-rata populasinya meningkat hingga minggu ke-4 ($9,4 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan mengalami penurunan pada minggu ke-6 dengan rata-rata populasinya sebesar $5,2 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa. Peningkatan jumlah koloni *Bacillus megghaterium* diikuti dengan peningkatan diameter zone beningnya hingga minggu ke-4 (dengan rata-rata sebesar 0,94 mm) dan mengalami penurunan pada minggu ke-6 (dengan rata-rata sebesar 0,61 mm). *Bacillus megghaterium* menunjukkan viabilitas terendah saat diinokulasikan pada *carrier* limbah kulit pisang 60 g + zeolit 60 g. Sedangkan untuk P totalnya penurunannya tidak signifikan, karena P tidak dapat dirombak dalam waktu 6 minggu.

V. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

1. Kulit pisang kurang baik sebagai *carrier* BPF karena hanya mampu mempertahankan jumlah populasi BPF tertinggi hingga minggu ke-4 dan setelah itu mengalami penurunan.
 - *Pseudomonas putida* menunjukkan viabilitas yang lebih baik bila dibanding *Bacillus megatherium* pada semua macam *carrier* yang mengandung kulit pisang.
 - *Pseudomonas putida* menunjukkan viabilitas tertinggi pada *carrier* kulit pisang 120 g dengan populasinya mengalami peningkatan hingga minggu ke-4 ($18,1 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan meskipun mengalami penurunan pada minggu ke-6 ($7,6 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) tetapi masih menunjukkan jumlah populasi yang lebih tinggi dibanding *carrier* yang lain.
 - Daya viabilitas *Bacillus megatherium* pada *carrier* limbah kulit pisang 90 g + zeolit 30 g dan limbah kulit pisang 60 g + zeolit 60 g adalah hampir sama dengan rata-rata populasinya meningkat hingga minggu ke-4 ($9,4 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa) dan mengalami penurunan pada minggu ke-6 dengan rata-rata populasinya sebesar $5,2 \times 10^7$ CFU/g bahan pembawa.
2. Peningkatan jumlah koloni BPF diikuti oleh peningkatan diameter zone bening.
 - Rata-rata diameter zone bening *Pseudomonas putida* adalah 0,63 mm.
 - Rata-rata diameter zone bening *Bacillus megatherium* adalah 0,58 mm.

B. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan diadakannya penelitian tentang bahan tambahan lain yang mampu menopang kelemahan kulit pisang sebagai bahan pembawa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, M dan L. Sian. 2004. Bioinsektisida Dari Kulit Pisang. Skripsi S1 Jurusan Teknik Kima. Universitas Widya Mandala. Surabaya.
- Andyanta, S. Atmojo dan Kharisma. 2000. "Pemanfaatan Zeolit Alam Menurunkan Kejenuhan Al Tanah Ultisol Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Kedelai". Jurnal Penelitian Pertanian Fakultas Pertanian Unsoed. Purwokerto 8 (IV) 41-47.
- Anonim. 2001. <http://www.unisosdem.org.co.id> (diambil tanggal 18 Januari 2007).
- . 2003. <http://www.Situs Web Kimia Indonesia Artikel - Zeolit sebagai Mineral Serba Guna.mht> (diambil tanggal 10 Juli 2008).
- . 2004. <http://www.wikipedia.org.co.id> (diambil tanggal 18 Januari 2007).
- . 2004. <http://www.litbang.jiptum-malang.go.id/publication> (diambil tanggal 18 Januari 2007).
- . 2008. [http:// Zeolit – Wikipedia.org.co.id](http://Zeolit - Wikipedia.org.co.id) (diambil tanggal 10 Juli 2008).
- Ardian. 2001. "Tanaman Pisang Sebagai Pakan Ternak Ruminansia". Buletin Balai Penelitian Ternak Wartazoa Vol 11(1).
- Astuti, R. D. 2006. *Pengaruh Pemberian Pupuk P dan Bahan organik terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Mikoriza arbuskula Pada Andisol Tawangmangu dengan Simbion Tanaman Jagung Manis*. Skripsi S1 Fakultas Pertanian UNS. Surakarta
- Black, J. 1999. *Microbiology Principles and Exploratory Fourth Edition*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- Burton, J.C. 1979. New Development In Inoculating Legume. Advance In Biological Nitrogen Nutrition. Oxford And IBH Publishing Co. New Delhi-India.
- Cahyono. 2004. "Pupuk Biologis Dari Mikrobial Pelarut Fosfat". Pikiran Rakyat, 11 Maret 2004.
- Coyne, M. 1999. *Soil Microbiology : An Exploratory Approach*. International Thomson Company. United State America.
- Edi. 2004. "Zeolit Bahan Pembenah Tanah". Suara Merdeka, 23 Pebruari 2004.

- Erwin. 2006. *Memfaatkan Kulit Pisang sebagai Nata..* Kompas 9 Maret 2006.
- Foth, H. 1994. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- Hakim , N. A.M. Lubis, S.G. Nugroho, B.B. Hong dan H.H. Bailey. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. Lampung.
- Hanifah, N. 2004. *Kajian Sifat Fisika Dan Organoleptik Pektin Kulit Pisang Dari Beberapa Varietas Dan Tingkat Kematangan*. Skripsi S1 Agroindustri Universitas Muhamidayah Malang. Malang
- Hasnati, E. 2005. "Pengaruh Penambahan Kulit Pisang Dalam Ransum Terhadap *Performans* Itik Petelur Jantan Muda". Jurnal Agromedia 24 (2): 122-127.
- Karnataka. 2007. "Enhanced Survival and Performance of Phosphate Solubilizing Bacterium in Maize through Carrier Enrichment". J. Agric. Sci. 20(1) : 170-172
- Louw, H.A. and D.M. Webley. 1959. "A study of Soil Bacteria Dissolving Certain Mineral Phosphate Fertilizer And Related Compounds". J. appl. Bact.22: 227-233
- Mansur .M, D. Soedarsono, dan E. Susilowati. 2003. *Biologi Tanah*. CPIU Pasca IAEUP. Jakarta.
- Mujib, M. D dan S.A Setryani. 2005. *Efektifitas BPF dan Pupuk P Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (Zea mays L.) Pada Tanah Masam*. [www. Ipteknet.com](http://www.Ipteknet.com) (diambil tanggal 2 Juni 2008).
- Premono, M.E. dan R. Widyastuti. 1994. "Stabilitas *Pseudomonas putida* Dalam Medium Pembawa Dan Potensinya Sebagai Pupuk Hayati". Jurnal Hayati 1 (2) : 55-58.
- Sarief, S. 1979. *Ilmu Tanah Umum*. Universitas Padjadjaran Pers. Bandung.
- Simanungkalit, R. D. M. 2001. "Aplikasi Pupuk Hayati dan Pupuk Kimia: Suatu Pendekatan Terpadu". Jurnal Tinjauan Ilmiah Riset Biologi dan Bioteknologi Pertanian 4 (2).
- Simanungkalit, R.D.M, Suriadikarta, D.A. Sarawati, R. Setyorini dan Hartatik. 2006. *Pupuk Organik Dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya lahan Pertanian. Bogor.
- Slyvina, Fuhramann, Hartel and Zuberer. 2005. *Principles and Aplications of Soil Microbiology*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.

- Stevenson, J.F. 1986. *Humus Chemistry*. John Wiley and Sons. New York.
- Subba-Rao, N.S. 1982. *Advanced Microbiology*. Oxford and IBH Publishing Co New Delhi. India.
- Subba-Rao, N.S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Supriyadi. 1995. *Ketersediaan Fosfat Untuk Tanaman Tebu Pada Tanah Oxisol Pelahari Yang diperlukan Dengan Bahan Organik Dan Bakteri Pelarut Fosfat*. Tesis S2. Jurusan Tanah, Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
- Supriyadi dan Sudadi. 1998. “ Efektifitas Bakteri Pelarut Fosfat pada Beberapa Macam Bahan Pembawa Inokulum”. *Jurnal Ilmu Tanah*. 6 (2): 30-36.
- Sutedjo, M. 1996. *Mikrobiologi Tanah*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Tilak dan Subba-Rao *cit* Subba-Rao 1982. *Advanced Microbiology*. Oxford and IBH Publishing Co New Delhi. India.
- Unisosdem. ”Dari Limbah Kulit Pisang Keluarlah Enzim Silanase”. *Kompas* 28 April 2003.
- Wongsoatmojo, S. 2003. *Peranan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya*. Seminar Nasional Pertanian Organik. Fakultas Pertanian UNS. Surakarta.
- Wulandari, 2001. “ Efektifitas BPF *Pseudomonas sp* Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) Pada Tanah Podsolik Merah Kuning”. *Jurnal Natur Indonesia* 4 (1): 14-20.

Lampiran 1. Hasil Analisis pH H₂O pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata pH H ₂ O		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	6,5	5,81	5,70
C ₁ I ₂	6,52	6,32	5,76
C ₂ I ₁	6,75	6,46	6,17
C ₂ I ₂	6,9	6,62	6,37
C ₃ I ₁	6,98	6,69	6,20
C ₃ I ₂	7,03	6,90	6,64

Lampiran 2. Hasil Analisis C-organik pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata C-organik (%)		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	49,4c	32,5h	21,8g
C ₁ I ₂	36,3cd	21,69f	11,2ab
C ₂ I ₁	32,6e	11,3ab	18,6d
C ₂ I ₂	20,48cd	9,5a	7,8bc
C ₃ I ₁	23,15cd	7,4a	8,9a
C ₃ I ₂	17,29bc	6,5a	6,8a

Lampiran 3. Hasil Analisis C/N ratio pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata C/N ratio		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	273,48	119,4	140,12
C ₁ I ₂	231,92	76,22	94,59
C ₂ I ₁	37,03	16,02	43,34
C ₂ I ₂	14,12	9,52	31,5
C ₃ I ₁	20,42	7,57	10,45
C ₃ I ₂	12,86	5,41	10,14

Lampiran 4. Hasil Analisis P total pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata P total (%)		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	0,175	0,167	0,152
C ₁ I ₂	0,177	0,171	0,161
C ₂ I ₁	0,126	0,122	0,118
C ₂ I ₂	0,13	0,127	0,116
C ₃ I ₁	0,091	0,08	0,074
C ₃ I ₂	0,083	0,076	0,068

Lampiran 5. Hasil Analisis C/P ratio pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata C/P ratio		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	282,29	194,61	143,42
C ₁ I ₂	205,08	126,84	69,57
C ₂ I ₁	258,73	92,62	157,63
C ₂ I ₂	157,54	74,8	67,24
C ₃ I ₁	254,39	92,5	120,27
C ₃ I ₂	208,31	85,53	100

Lampiran 6. Hasil Analisis jumlah koloni Bakteri Pelarut Fosfat pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata jumlah BPF ($\times 10^7$ CFU/g bahan pembawa)		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	7,8efgh	18,1i	7,6defgh
C ₁ I ₂	5,6bcde	9,5gh	5,5bcd
C ₂ I ₁	7,2cdefgh	9,9h	5,6bcde
C ₂ I ₂	4,3abc	9,2fgh	4,8abcd
C ₃ I ₁	6,3bcde	7cdefg	4,6abc
C ₃ I ₂	3,7ab	6,6bcdef	2a

Lampiran 7. Hasil Analisis diameter zone bening Bakteri Pelarut Fosfat pada inkubasi minggu ke-2, 4 dan 6

Perlakuan	Rerata Ø zone bening (mm)		
	Minggu II	Minggu IV	Minggu VI
C ₁ I ₁	0,85bcde	1,5g	0,68abcd
C ₁ I ₂	0,68abcd	0,95def	0,62abcd
C ₂ I ₁	0,8abcde	1,25fg	0,65abcd
C ₂ I ₂	0,58abc	0,92cdef	0,60abcd
C ₃ I ₁	0,77abcde	1,05ef	0,57abc
C ₃ I ₂	0,45a	0,82bcde	0,25ab

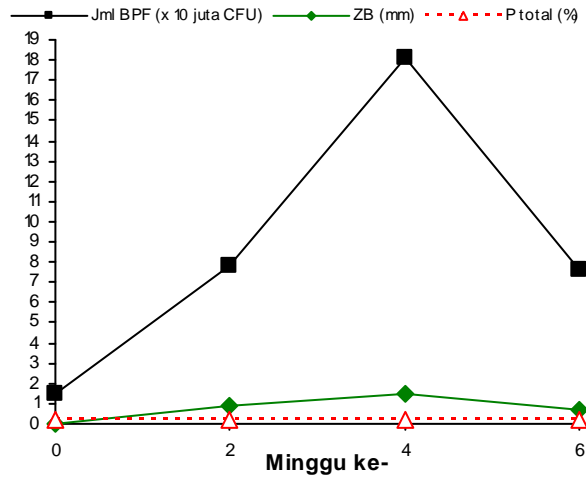
Lampiran 8. Rangkuman analisis ragam variabel pengamatan selama inkubasi 6 minggu

Variabel Pengamatan	Perlakuan						
	C	I	T	C*I	C*T	I*T	C*I*T
pH H ₂ O	0,000**	0,000**	0,000**	0,480 ^{ns}	0,976 ^{ns}	0,001**	0,962 ^{ns}
C-organic	0,000**	0,009**	0,063 ^{ns}	0,354 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,371 ^{ns}	0,000**
P total	0,003**	0,438 ^{ns}	0,000**	0,925 ^{ns}	0,008**	0,700 ^{ns}	0,763 ^{ns}
C/P ratio	0,000**	0,009**	0,018*	0,005**	0,000**	0,018*	0,755 ^{ns}
Σ BPF	0,004**	0,293 ^{ns}	0,000**	0,571 ^{ns}	0,017*	0,266 ^{ns}	0,004**
Ø Zone clean	0,118 ^{ns}	0,198 ^{ns}	0,000**	0,550 ^{ns}	0,391 ^{ns}	0,318 ^{ns}	0,016*

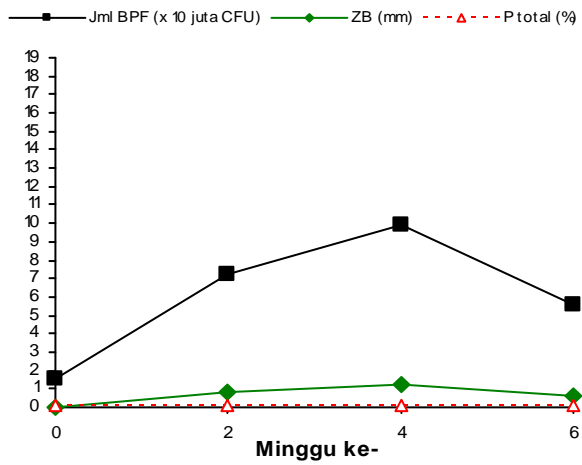
Keterangan :

- ** : berpengaruh sangat nyata
 * : berpengaruh nyata
 ns : berpengaruh tidak nyata

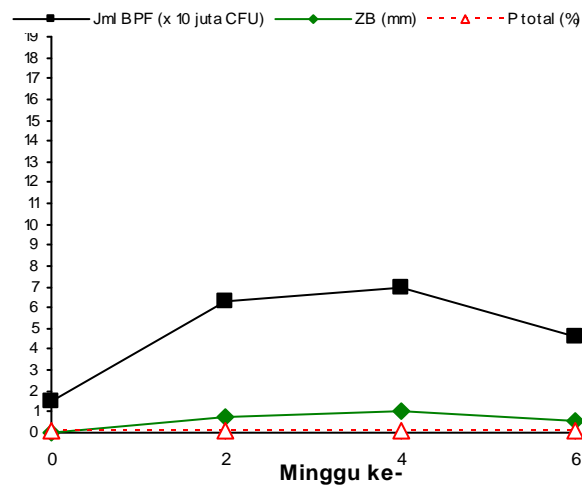
120 g kulit pisang + P.putida (A)

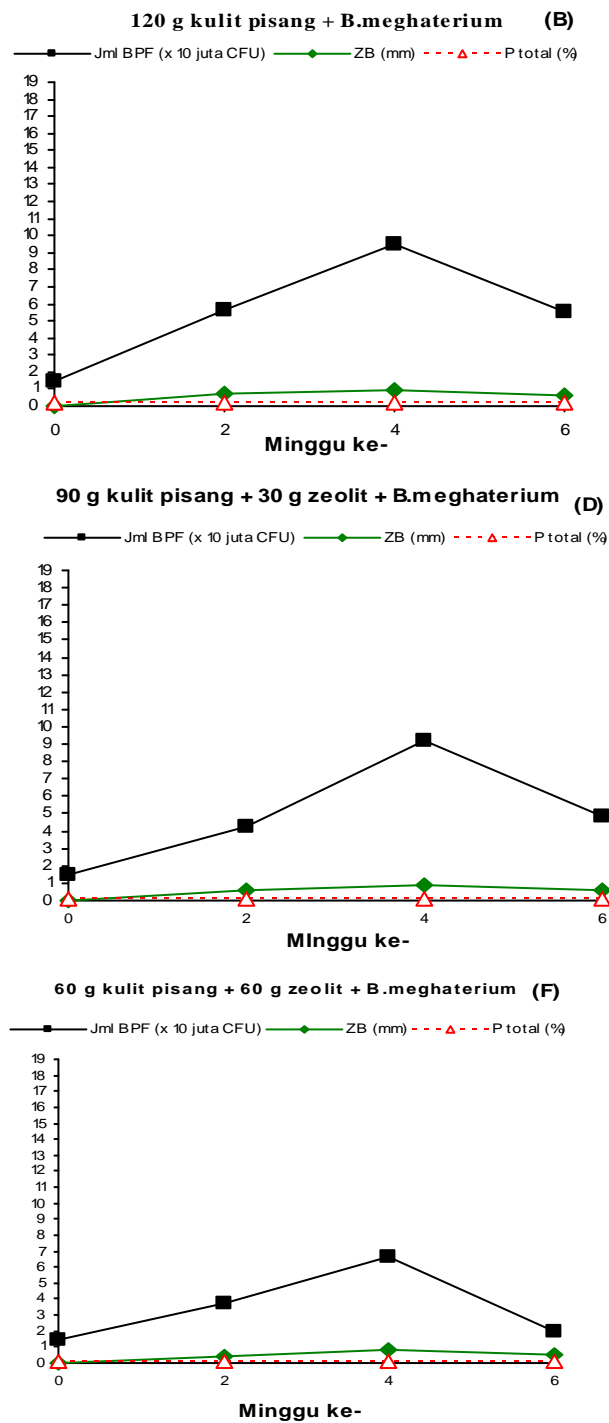


90 g kulit pisang + 30 g zeolit + P.putida (C)



60 g kulit pisang + 60 g zeolit + P.putida (E)





Gambar 4.11. Viabilitas Bakteri Pelarut Fosfat pada berbagai macam carrier, 120 g kulit pisang + *P.putida* (A), 120 g kulit pisang + *B. megatherium* (B), 90 g kulit pisang + 30 g zeolit + *P.putida* (C), 90 g kulit pisang + 30 zeolit + *B. megatherium* (D), 60 g kulit pisang + 60 g zeolit + *P.putida* (E), 60 g kulit pisang + 60 zeolit + *B. megatherium* (F).

Lampiran 9. Uji Korelasi

Correlations

		PH	C-org	C/N	P	C/P
PH	Pearson Correlation	1	-.395*	- **	-.594*	-.482**
	Sig. (2-tailed)	.	.003	.00	.000	.000
	N	54	54	54	54	54
C-org	Pearson Correlation	-.395**	1	.87 **	-.123	.969**
	Sig. (2-tailed)	.00	.	.00	.376	.000
	N	54	54	54	54	54
C/N	Pearson Correlation	-.485**	.877*	1	-.136	.832**
	Sig. (2-tailed)	.00	.000	.	.326	.000
	N	54	54	54	54	54
P	Pearson Correlation	-.594*	-.123	-	1	-.213
	Sig. (2-tailed)	.00	.376	.32	.	.122
	N	54	54	54	54	54
C/P	Pearson Correlation	-.482**	.969*	.83 **	-.213	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.00	.122	.
	N	54	54	54	54	54
Σ BPF	Pearson Correlation	.288 *	.644**	.68 **	-.088	.605**
	Sig. (2-tailed)	.035	.000	.00	.528	.000
	N	54	54	54	54	54
Ø ZC	Pearson Correlation	-.177	.403**	.44 **	.031	.349**
	Sig. (2-tailed)	.200	.002	.00	.822	.010
	N	54	54	54	54	54

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Lampiran 10



Gambar 1. Inkubasi limbah kulit pisang selama 6 minggu



Pseudomonas putida



Bacillus megatherium

Gambar 2. Aktivitas fosfatase pada carrier limbah kulit pisang 120 g



Pseudomonas putida

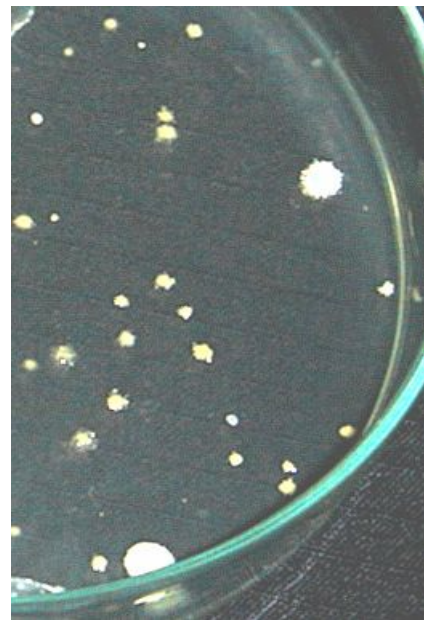


Bacillus megatherium

Gambar 3. Aktivitas fosfatase pada carrier limbah kulit pisang 90 g + zeolit 30 g



Pseudomonas putida



Bacillus megatherium

Gambar 4. Aktivitas fosfatase pada carrier limbah kulit pisang 60 g + zeolit 60 g

